

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：[www.kaoyancas.net](http://www.kaoyancas.net)

# 电子技术基础 (2)

2010年3月5日

# 课程内容

## 电子技术基础(2)-模拟电路部分（40学时）

教材：

1. 电子技术基础，康华光

考试：考一次。

分数：考试占80%，作业占20%。

作业：

在每章结束后下一堂课交，具体安排请各班学习委员同辅导老师商量。

辅导教师：梁福田 3606495

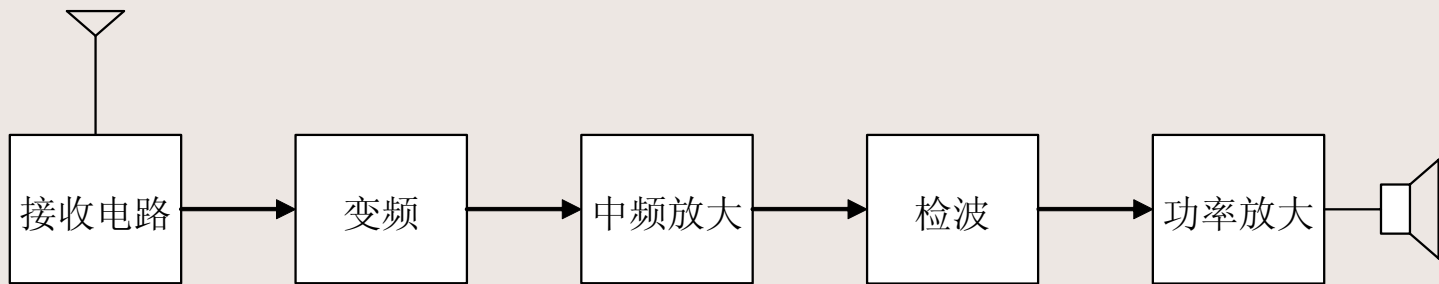
# 第一章

# 绪论

## § 1-1 电子系统

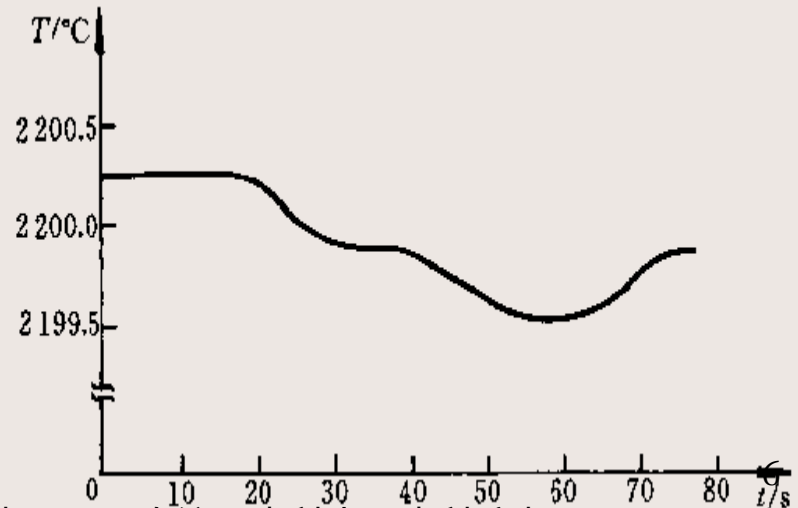
- ❖ **电子系统**是指由若干相互联接、相互作用的基本电路组成的具有**特定功能**的电路整体。
- ❖ 由于大规模集成电路和模拟-数字混合集成电路的出现，目前，在单个芯片上能够集成许多种不同类型的电路，从而自成一个系统。  
单个芯片构成的数据采集系统产品，芯片内部包括多路模拟开关、可编程放大电路、取样-保持电路、模-数转换电路、数字信号传输与控制电路等多种功能电路。
- ❖ 电子系统必须与物理系统相结合，才能构成完整的实用系统。

# 收音电路



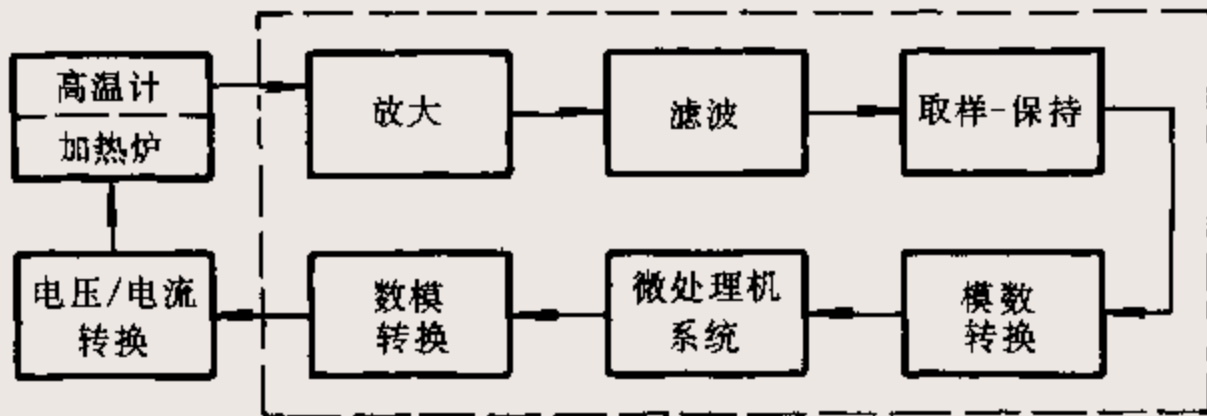
# 加热控制系统

- ❖ 加热炉把石英预制棒下部尖端加热至 $2200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的固定温度，使棒的尖端处于熔融状态，在光纤重力和拉丝塔下部拉丝盘的作用下拉制成光纤。
- ❖ 保持加热炉内温度的稳定对保证光纤直径的准确性至关重要。当外界因素，如气温、炉外的冷却水温、电压等发生微小波动时，都会使炉内温度偏离预置值。
- ❖ 高温计把温度的变化转换为电压，经放大、滤波、取样/保持和A/D把信号转换成数字。计算机根据加热炉的热力学模型和控制模型计算出控制输出。



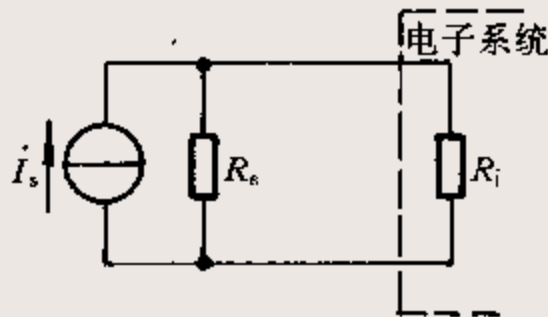
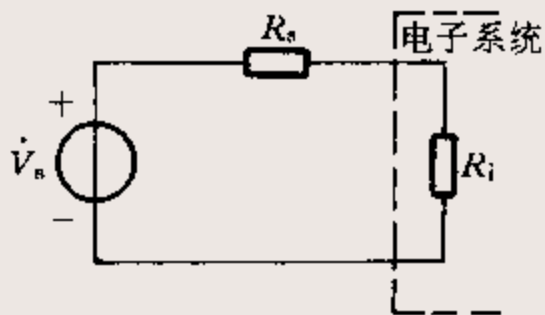
# 加热控制系统

- ❖ 石英预制棒加热炉温度控制系统的电子系统组成框图。虚线框内是一台可编程逻辑控制器 $PLC$ ，它是一种可根据不同要求配备相应组合部件和控制程序的电子系统。



## § 1-2 信号及其频谱

- ❖ 信号是信息的载体。物理量需要用适当的传感器转换为电信号，再输入到电子系统。
- ❖ 常把传感器作为信号源处理。图a以理想电压源和源内阻 $R_s$ 串联等效信号源，而图b则以理想电流源和源内阻 $R_s$ 并联等效信号源。
- ❖ 在多级电子电路中，对某一级电路进行分析时，前一级电路的输出信号就是本级的输入信号。

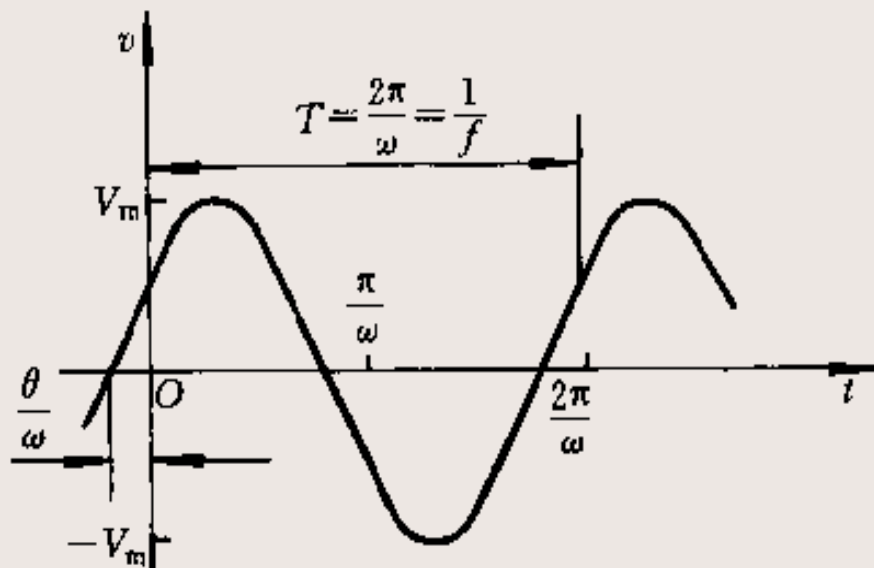




# 正弦波信号

- ❖ 正弦波电压幅值与时间的函数关系是最简单的信号。当 $V_m$ 、 $\omega$ 和 $\theta$ 均为已知时，信号中就不再含有任何未知信息。正弦波信号经常作为标准信号用来对模拟电子电路进行测试。

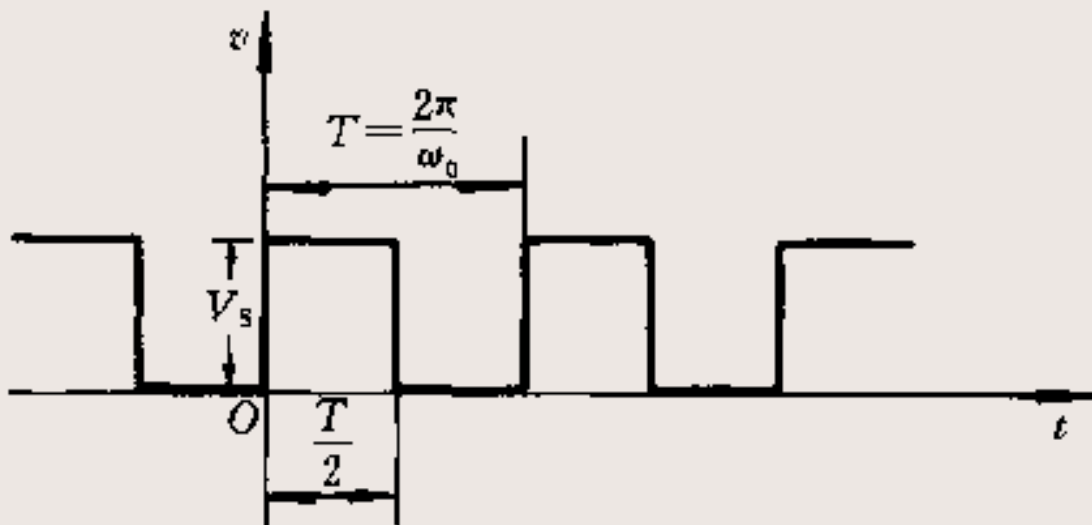
$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \theta)$$



# 周期性方波信号

❖ 周期性方波信号，它的时间函数表达式为

$$v(t) = \begin{cases} V_s & nT \leq t < (2n+1)\frac{T}{2} \\ 0 & (2n+1)\frac{T}{2} \leq t < (n+1)T \end{cases}$$



# 任意周期函数

- 任意周期函数只要满足狄利克雷条件都可以展开成傅里叶级数。方波信号展开为傅里叶级数表达式：

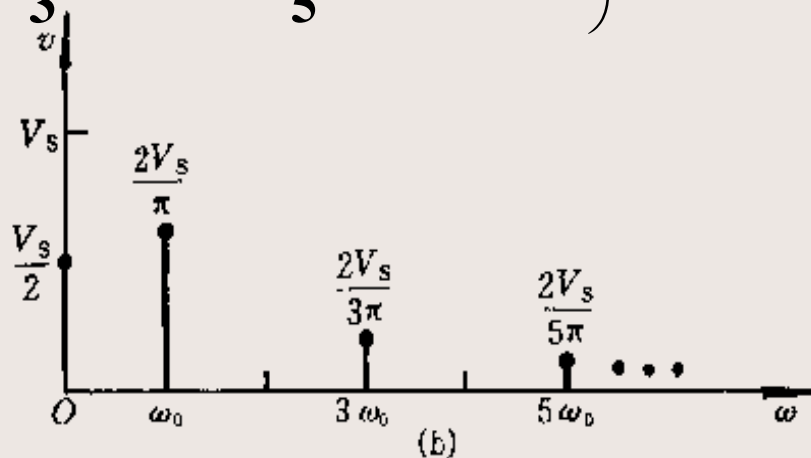
$$v(t) = \frac{V_s}{2} + \frac{2V_s}{\pi} \left( \sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots \right)$$

基波

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

直流分量

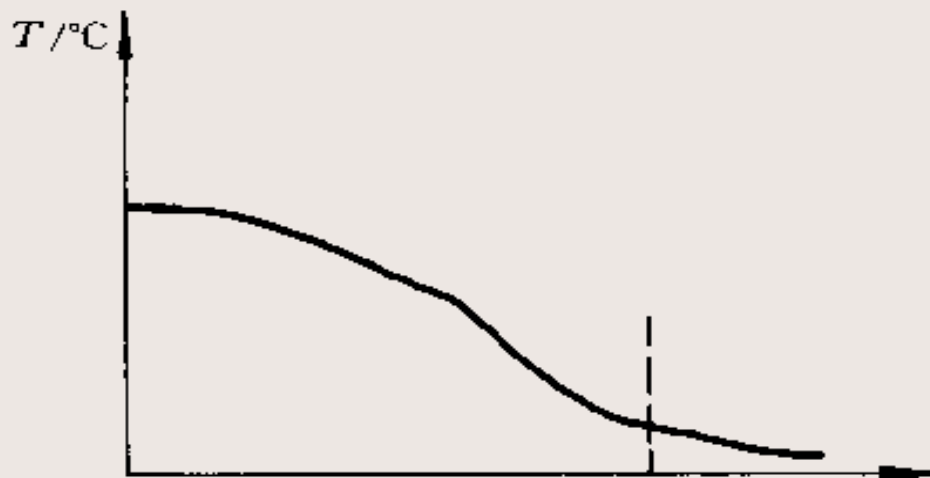
$$\frac{2V_s}{\pi} \sin \omega_0 t$$



- 周期信号的频谱由直流分量、基波分量和无穷多项高次谐波分量所组成，频谱表现为一系列离散频率上的幅值，随着谐波次数的递增，幅值逐渐减小。

# 非周期信号频谱

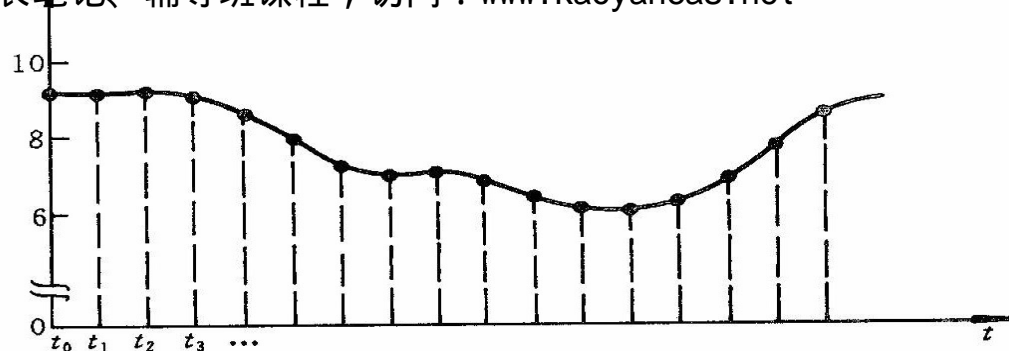
- ❖ 运用傅里叶变换可将非周期信号表达为一连续频率函数形式的频谱，它包含了所有可能的频率( $0 \leq \omega < \infty$ )成分。
- ❖ 非周期信号随角频率上升到一定程度，其频谱函数总趋势是衰减的。选择适当的截止角频率时，不会影响信号的特性，通常把保留的部分称为信号的带宽。



## § 1-3 模拟信号和数字信号

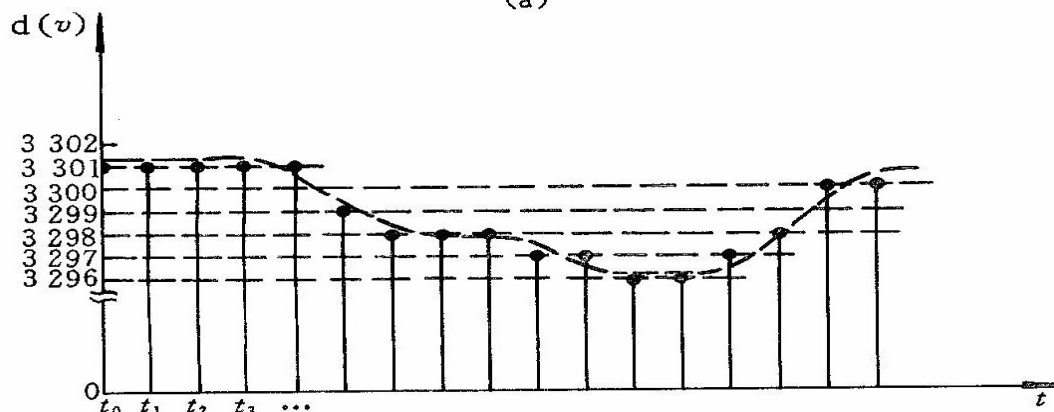
- ❖ 在信号分析中，按**时间**和**幅值**的连续性和离散性把信号分为4类；(1)时间连续、数值连续信号；(2)时间离散、数值连续信号；(3)时间连续、数值离散信号；(4)时间离散、数值离散信号。
- ❖ 第(1)类为模拟信号，(2)、(3)、(4)三类信号属于数字信号。
- ❖ 模拟信号的特点是：在时间上和幅值上均是连续的，在一定动态范围内可能取任意值。处理模拟信号的电子电路称为**模拟电路**，如放大电路、滤波电路、电压/电流变换电路等。

时间离散、数值连续信号  
(S/H信号)



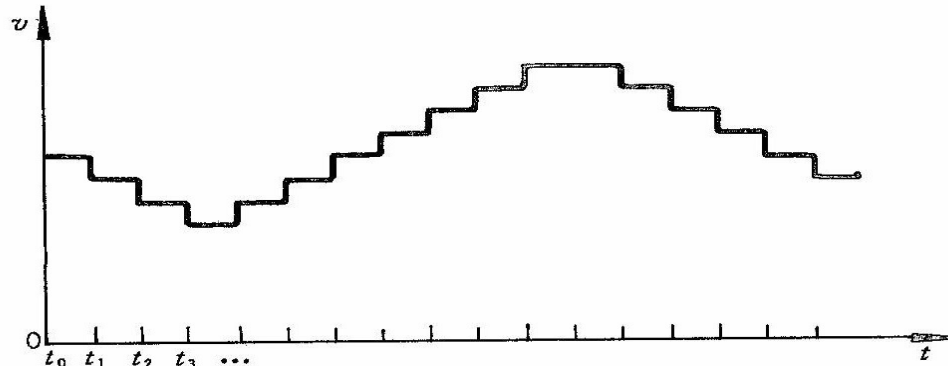
(a)

时间离散、数值离散信号  
(ADC输出)



(b)

时间连续、数值离散信号  
(DAC输出)



## § 1-4 放大电路

- ❖ 放大是最基本的模拟信号处理功能，不同模拟电子系统应用不同类型的放大电路。
- ❖ 放大电路也是构成其他模拟电路的基本单元电路，如滤波、振荡、稳压等功能电路。

# 模拟信号放大

- ❖ 检测外部物理信号的传感器所输出的电信号通常是很微弱的，如高温计输出电压仅有毫伏量级，细胞电生理实验中所检测到的细胞膜离子单通道电流只有皮安( $pA$ )量级。
- ❖ 对这些能量过于微弱的信号，通常必须把它们放大到数百毫伏量级，才能用数字式仪表或传统的指针式仪表显示出来。若对信号进行数字化处理，则须把信号放大到数伏量级才能被模数转换器所接受。



# 放大电路

- ❖ 只考虑电压增益的电路称为**电压放大电路**。

$$\dot{V}_o = \dot{A}_V \dot{V}_i$$

- ❖ 只考虑电流增益的电路称为**电流放大电路**。

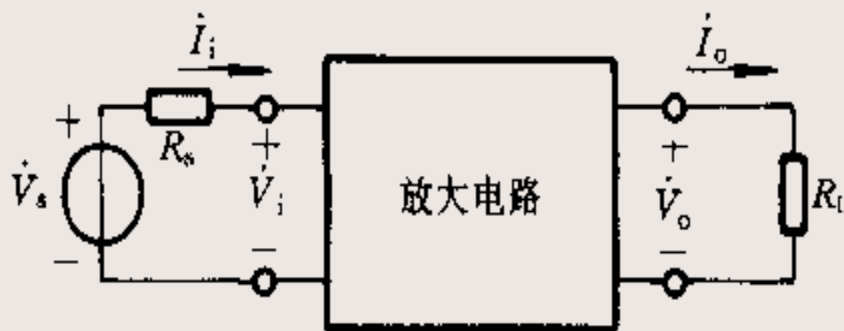
$$\dot{I}_o = \dot{A}_I \dot{I}_i$$

- ❖ 当需要把电流信号转换为电压信号，可利用**互阻放大电路**。

$$\dot{V}_o = \dot{A}_R \dot{I}_i$$

- ❖ 把电压信号转换为电流输出的电路，称为**互导放大电路**。

$$\dot{I}_o = \dot{A}_G \dot{V}_i$$



# 放大电路模型

- ❖ 根据输入信号和输出信号是电压还是电流，放大电路可分为四种类型，即：电压放大、电流放大、互阻放大和互导放大。
- ❖ 这四类放大电路有四种不同的双口网络作为相应类型放大电路模型。模型给出了等效放大电路的输入和输出特性，而忽略各种实际放大电路的内部结构。
- ❖ 若将模型与实际电路相联系，其中各元件参数值可以通过对电路和元器件的分析来确定，也可以通过对实际电路的测量而得到。

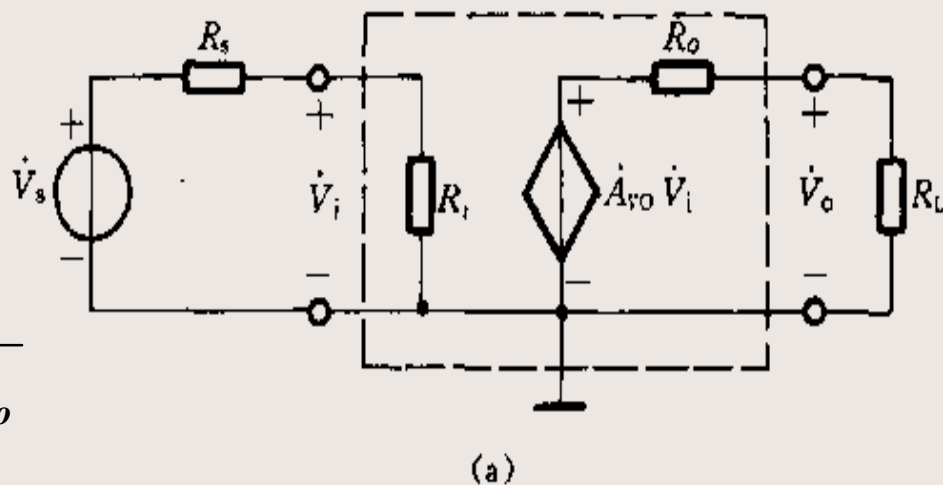
## 电压放大电路模型

- ❖ 电压放大电路模型由输入电阻 $R_i$ 、输出电阻 $R_o$ 和受控电压源 $A_{vo} \dot{V}_i$ 三个基本元件构成，其中 $\dot{V}_i$ 为输入电压， $A_{vo}$ 为输出开路( $R_L = \infty$ )时的电压增益。

$$\dot{V}_o = A_{vo} \dot{V}_i \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$A_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$\dot{V}_i = \dot{V}_s \frac{R_i}{R_i + R_s}$$



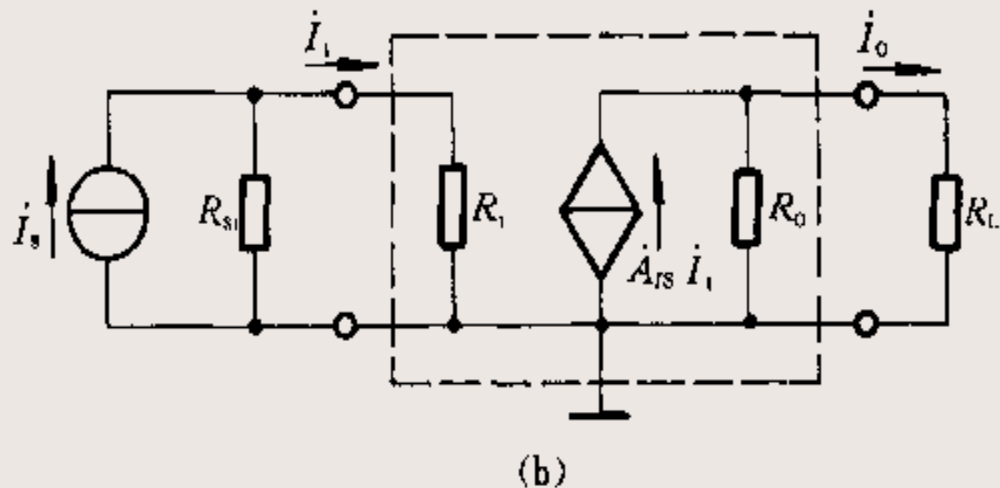
## 电流放大电路模型

- ❖ 电流放大电路模型与电压放大电路模型在形式上不同之处在输出回路，它是由受控电流源  $\dot{A}_{IS} \dot{I}_i$  和输出电阻  $R_o$  并联而成，其中  $\dot{I}_i$  为输入电流。 $\dot{A}_{IS}$  为输出短路 ( $R_L=0$ ) 时的电流增益。

$$\dot{I}_o = \dot{A}_{IS} \dot{I}_i \frac{R_o}{R_L + R_o}$$

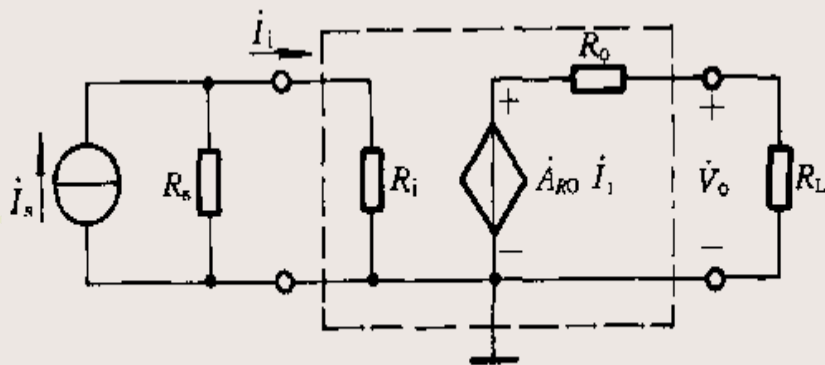
$$\dot{A}_i = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i} = \dot{A}_{IS} \frac{R_o}{R_L + R_o}$$

$$\dot{I}_i = \dot{I}_s \frac{R_s}{R_s + R_i}$$

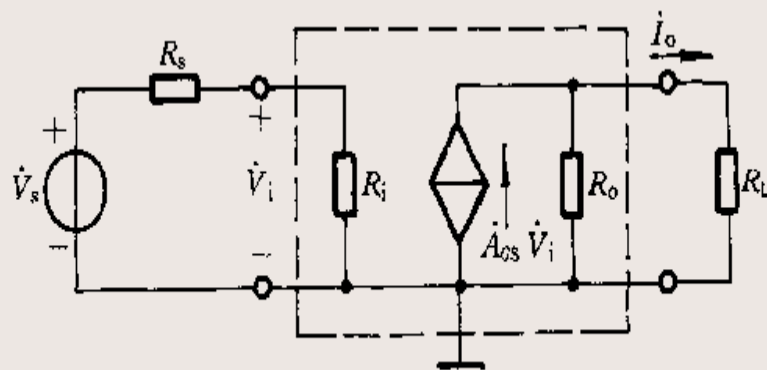


# 互阻放大和互导放大电路模型

- ❖ 两电路的输出信号分别由受控电压源  $\dot{A}_{RO} \dot{I}_i$  和受控电流源  $\dot{A}_{GS} \dot{V}_i$  产生。在理想状态下，互阻放大电路要求输入电阻  $R_i=0$  且输出电阻  $R_o=0$ ；而互导放大电路则要求输入电阻  $R_i=\infty$ ，输出电阻  $R_o=\infty$ 。电路中的  $\dot{A}_{RO}$  称为输出开路时的互阻增益， $\dot{A}_{GS}$  称为输出短路时的互导增益。



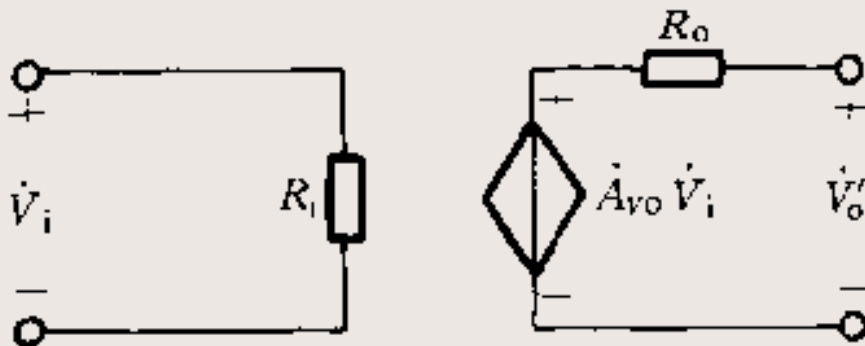
(c)



(d)

# 隔离放大

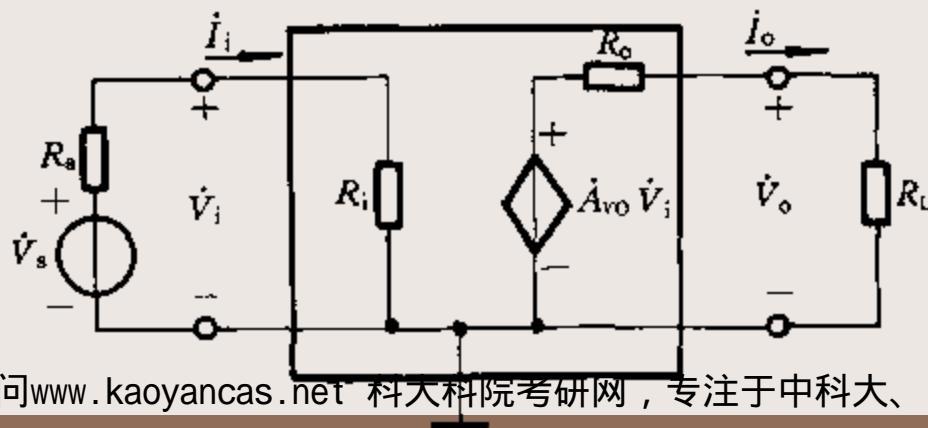
- ❖ 许多工业控制设备及医疗设备，为了电子设备的提高安全性和抗干扰能力，在前级信号预放大中，普遍采用“隔离”放大，即放大电路的输入与输出电路(包括供电电源)相互绝缘，输入与输出信号之间不存在任何公共参考点。



## § 1-5 放大电路的主要性能指标

### 1. 输入电阻

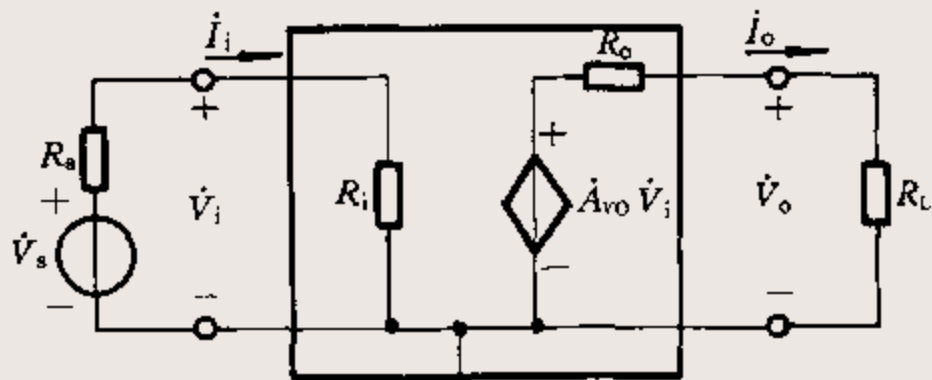
- ❖ 输入电阻等于输入电压  $\dot{V}_i$  与输入电流  $\dot{I}_i$  比值，即  $R_i = \dot{V}_i / \dot{I}_i$ 。输入电阻  $R_i$  的大小决定了放大电路从信号源吸取信号幅值的大小。
- ❖ 对于输入为电压信号的放大电路(电压放大和互导放大)，输入电阻  $R_i$  愈大，则放大电路输入端的  $\dot{V}_i$  值愈大。反之，输入为电流信号的放大电路(电流放大和互阻放大)， $R_i$  愈小，注入放大电路的输入电流  $\dot{I}_i$  愈大。



# 放大电路的主要性能指标

## 2. 输出电阻

- ❖ 放大电路输出电阻 $R_o$ 的大小决定它带负载的能力。对输出为电压信号的放大电路， $R_o$ 愈小，负载电阻 $R_L$ 的变化对输出电压 $\dot{V}_o$ 的影响愈小。
- ❖ 对输出为电流信号的放大电路，与受控电流源并联的 $R_o$ 愈大，负载电阻 $R_L$ 的变化对输出电流 $I_o$ 的影响愈小。





# 放大电路的主要性能指标

## 3. 增益

- ❖ 四种放大电路分别具有不同的增益，如电压增益  $\dot{A}_V$ 、电流增益  $\dot{A}_I$ 、互阻增益  $\dot{A}_R$  及互导增益  $\dot{A}_G$ 。它们实际反映了放大电路在输入信号控制下，将供电电源能量转换为信号能量的能力。
- ❖ 其中  $\dot{A}_V$  和  $\dot{A}_I$  两种无量纲增益，在工程上常用以10为底的对数增益表达，其基本单位为B(贝尔，Bel)，用它的十分之一单位dB(分贝)。

$$\text{电压增益} = 20 \lg \left| \dot{A}_V \right| \quad \text{dB}$$

$$\text{电流增益} = 20 \lg \left| \dot{A}_I \right| \quad \text{dB}$$

$$\text{功率增益} = 10 \lg \left| \dot{A}_P \right| \quad \text{dB}$$

# 放大电路的主要性能指标

## 4. 频率响应及带宽

- ❖ 实际的放大电路中总是存在一些电抗性元件，如电容、电感、电子器件的极间电容以及接线电容与接线电感等。因此，放大电路的输出和输入之间的关系必然和信号频率有关。
- ❖ 放大电路的频率响应所指的是，在输入正弦信号情况下，输出随频率连续变化的稳态响应。

# 频率响应

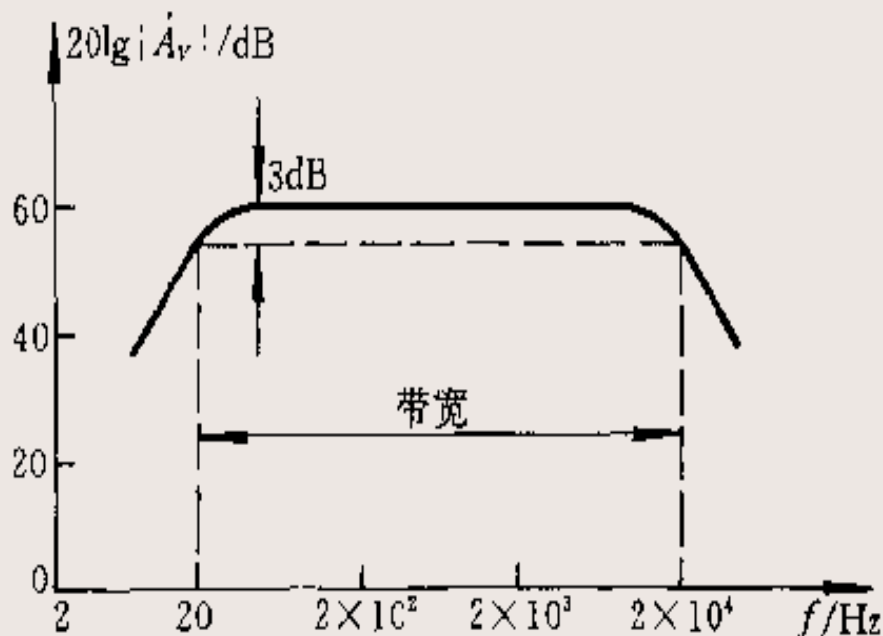
- ❖ 若考虑电抗性元件的作用和信号角频率变量，则放大电路的电压增益可表达为

$$\dot{A}_V(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} \quad \dot{A}_V = A_V(\omega) \angle \varphi(\omega)$$

- ❖  $\omega$ 为信号的角频率， $A_V(\omega)$ 表示电压增益的模与角频率之间的关系，称为**幅频响应**；而 $\varphi(\omega)$ 表示放大电路的输出与输入正弦电压信号的相位差与角频率之间的关系，称为**相频响应**，二者综合起来可全面表征放大电路的频率响应。

# 带宽

- ❖ 横坐标采用频率单位 $f = \omega/(2\pi)$ ，坐标采用对数刻度，称为**波特(Bode)图**。
- ❖ 幅频响应的中间一段是平坦的，称为**中频区**。
- ❖ 在 $20\text{Hz}$ 和 $20\text{kHz}$ 两点增益分别下降 $3\text{dB}$ ，在低于 $20\text{Hz}$ 和高于 $20\text{kHz}$ 的两个区域，增益随频率远离这两点而下降。增益下降 $3\text{dB}$ 的频率点，其输出功率约等于中频区输出功率的一半，通常称为**半功率点**。

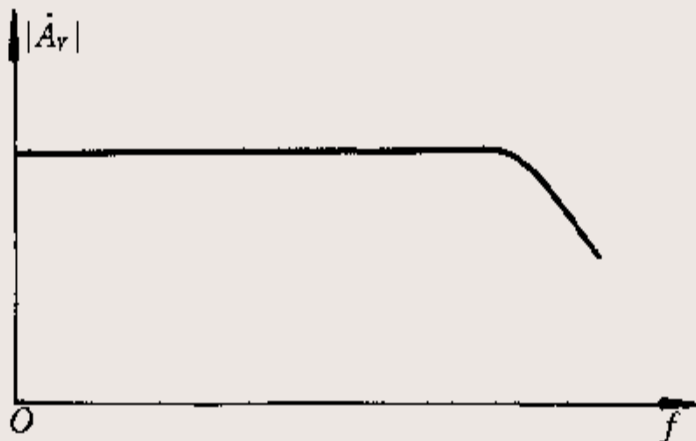


# 带宽

- ❖ 把幅频响应的高、低两个半功率点间的频率差定义为放大电路的带宽，即

$$BW = f_H - f_L$$

- ❖  $f_H$ 是频率响应的高端半功率点，也称为上限频率，而 $f_L$ 则称为下限频率。



# 失真

- ❖ 理论上许多非正弦信号的频率范围都延伸到无穷大，而放大电路的带宽却是有限的，并且相频响应也不能保持常数。基波增益较大，而二次谐波增益较小，于是输出电压波形产生了失真，这叫作**幅度失真**。
- ❖ 当放大电路对不同频率的信号产生的相移不同时，也产生失真，称为**相位失真**。
- ❖ 幅度失真和相位失真总称为**频率失真**，它们都是由于线性电抗元件所引起的，所以又称为**线性失真**。

# 非线性失真

- ❖ 非线性信号的失真是由放大器件的非线性特性所引起的，放大器件包括分立器件(如半导体三极管等)和集成电路器件(如集成运算放大器等)。
- ❖ 对于分立器件放大电路来说，应设法使它工作在线性放大区。但当要求信号的幅值较大，如多级放大电路的末级，特别是功率放大电路，非线性失真难以避免。
- ❖ 对于集成运算放大器，通常是由正、负双电源供电，当输出信号的幅值接近双电源值时，其输出将产生非线性失真，称为**饱和失真**。

# 作业

**P20 习题一**

**1.2.1, 1.2.2, 1.4.1**

**预习第三章**